

УДК 550.8.012; 550.8.053

**В.В. Ческидов**

## **ОБОСНОВАНИЕ СЕТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ КАК МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР**

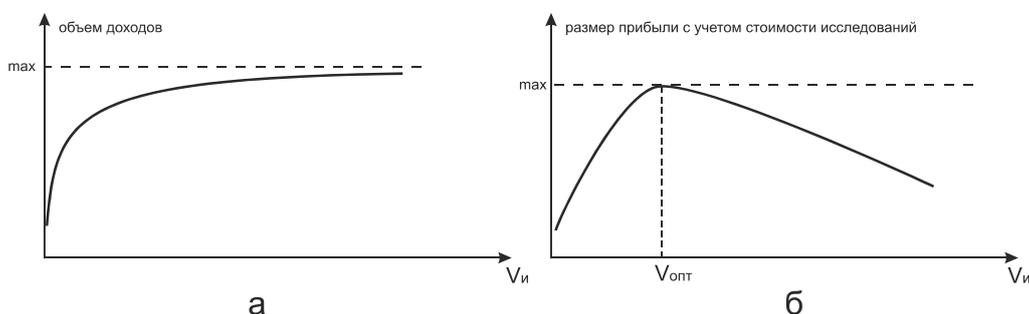
*Описан способ инженерно-геологических изысканий на намывных техногенных массивах с применением кластерного анализа. Произведена оценка пригодности данного метода в качестве математического обеспечения современных САПР в горном деле.*

*Ключевые слова: техногенный массив, хвостохранилище, гидроотвал, инженерно-геологические изыскания (ИГИ), плотность ИГ сети, системы автоматизированного проектирования (САПР), обеспечение САПР.*

**В**се виды хозяйственной деятельности разделяются на четыре этапа: планирование, проектирование, разработка (строительство) и эксплуатация. Данная классификация во многом определяет задачи проведения инженерно-геологических исследований (ИГИ), как в горном деле, так и в других отраслях хозяйствования. Владение необходимым объемом информации об объекте позволяет на каждой стадии ведения хозяйственной деятельности принимать наиболее выгодные и перспективные решения. На рис. 1, а представлена зависимость предполагаемого уровня прибыли от объема информации об объекте хозяйствования. Чем большей информацией владеет проектировщик, тем точнее он сможет разработать варианты по рациональному использованию ресурса. В то же время инженерно-геологические изыскания, которые являются основным и наиболее достоверным источником информацию о горном объекте, непосредственной прибыли не приносят, к тому же незначительное повышение точности после некоторого уровня (для каждого объекта он

свой) требует колоссального увеличения объема исследований. Отсюда следует, что необходимо определить необходимый и достаточный уровень информации, который позволит наиболее рационально управлять объектом. С учетом стоимости самих ИГИ график зависимости уровня прибыли от объекта хозяйствования можно представить в виде куполообразной кривой (рис. 1, б) [1].

Как правило,  $Vo_{пт}$  определяется в соответствии с решаемой производственной задачей. В связи с этим чаще возникает задача минимизации затрат на ИГИ с сохранением заданного уровня точности, а не определения непосредственного значения  $Vo_{пт}$ . Внедрение современных способов обработки натуральных данных и компьютерных технологий позволит значительно сократить объем исследований без потери достоверности и точности. При проведении ИГИ одной из основных проблем является определение геометрии и плотности сети. Рекомендации по размещению пунктов получения информации (скважин, горных выработок и др.) на объекте исследования, содержащиеся в нор-



**Рис. 1. Зависимость доходов от объема информации об объекте хозяйствования  $V_{и}$  – объем информации об объекте,  $V_{опт}$  – оптимальный объем информации, при котором прибыль максимальна**

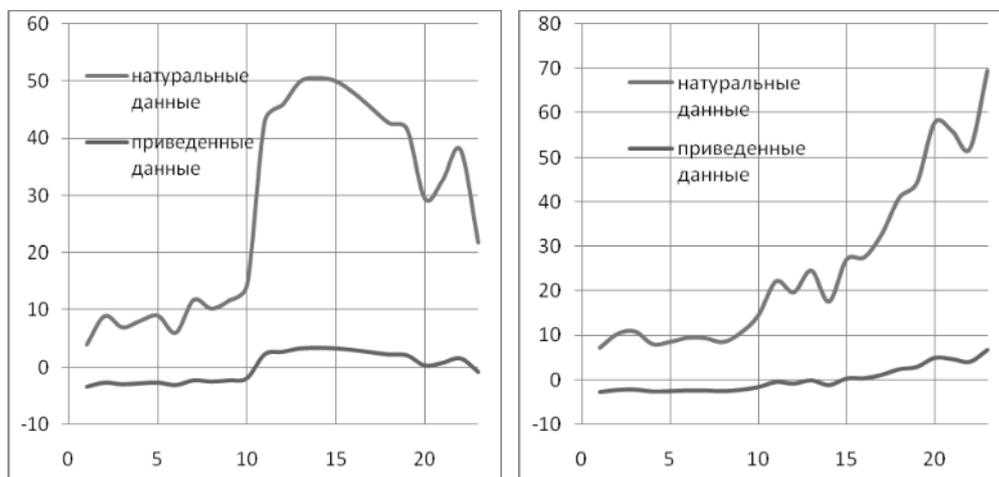
мативных документах, регламентирующие методику инженерно-геологических исследований для намывных массивов, научно не обоснованы. Они не учитывают свойства геологической среды, в том числе свойства грунтов и их пространственную изменчивость. Создание научно подтвержденных способов построения сети ИГИ одна из актуальных проблем современной науки.

Одним из важнейших результатов исследований является инженерно-геологическое районирование техногенного массива, как основы для выбора направления его дальнейшего использования. Целью районирования является выделение в массиве зон (участков), имеющих по всей площади одинаковые или близкие свойства или закономерности их изменения. Например, для гидроотвалов это может быть: несущая способность, гранулярный состав, время достижения необходимой несущей способности и т.п. Для хвостохранилища может добавляться содержание ценного компонента в хвостах, с целью разработки технологии и способов использования этого массива как техногенного месторождения. В данном случае сеть опробования строить наиболее сложно, так как приходится учитывать все

направления пространственной изменчивости массива, а в некоторых случаях и время.

Многолетний опыт проведения инженерно-геологических работ МПГУ, ВНИМИ, ВИОГЕМ, ВСЕГИНГЕО и др. показывает, что около 30 % точек опробования не дают информации о массиве, иначе говоря, их можно полностью исключить. Избыточность, как правило, возникает на этапе проектирования сети. Использование современных способов статистики, в первую очередь кластерного и дисперсного анализов, позволит сократить количество точек опробования за счет извлечения более полной информации из полученных натуральных данных.

Процесс построения ИГ сети, как и большинство видов натуральных исследований, опирается на метод последовательных приближений. В этом случае сгущение сети производится на основании материалов, полученных на предыдущих этапах. Данный процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута необходимая в условиях решаемой проблемы точность. За нулевой шаг необходимо выбрать такие показатели техногенного массива, которые не изменяются во времени. При районировании на хвостохранилищах и гидроотвалах одним из



**Рис. 2.** Изменение содержания частиц диаметром от 0,01 до 0,005 мм (слева) и менее 0,005 (справа) по фронту намыва в натуральном и приведенном видах

главных показателей является грансостав, определяемый процессами фракционирования при намыве, этот параметр можно использовать на нулевом шаге изучения. При исследовании массива во времени данная итерация не требует повторения, так как  $\Phi(t)=const$ , грансостав не изменяется во времени [2, 3].

С помощью иерархических методов кластеризации разбиваем пробы на заданное количество групп. Таким образом, получим положение границ ИГ зон на намывном сооружении в первом приближении. Далее добавляем другие физико-механические свойства техногенных отложений (плотность, влажность, угол внутреннего трения, сцепление), по которым проводим районирование. Для устранения размерности на каждом этапе проводим нормирование шкал, в общем виде записываемое в виде [5]:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{j0}}{\lambda_j}, \quad (1)$$

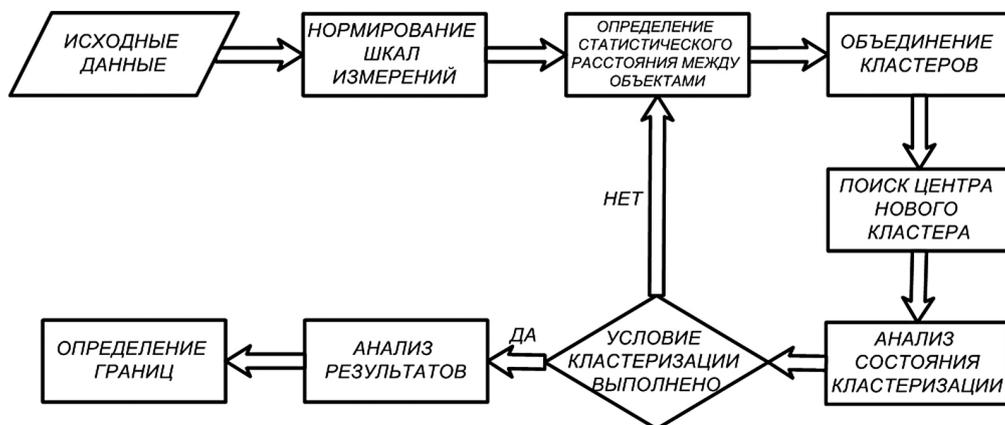
где  $x_{ij}$  — натуральное текущее значение  $i$ -го показателя  $j$ -го фактора;  $x_{j0}$  — на-

туральное значение нулевого уровня  $j$ -го фактора;  $\lambda_j$  — интервал варьирования  $j$ -м фактором, натуральное значение.

Выбираем способ нормирования, который принципиально не изменяет вида зависимости параметра от пространственной координаты и является нулевой, то есть сумма всех приведенных значений равно нулю. Одним из них является преобразование, в котором в качестве нулевого уровня выступает среднее значение, а в качестве интервала варьирования — усредненное Евклидово расстояние от нулевого значения [5]:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}}{\frac{1}{n} \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^2}} \quad (2)$$

На рис. 2 представлено нормирование данных на примере грансостав техногенных отложений гидроотвала «Лог Шамаровский» Михайловского ГОКа.



**Рис. 3. Определение границ ИГ зон**

В случае оценки расстояния между эмпирическими данными, когда не возможно четко определить степень зависимости между наблюдаемыми параметрами и выделить конкретные характеристики объектов. Приходится сравнивать их как единое целое, в этом случае наиболее перспективным выглядит использования метрик Евклида. В результате получим матрицу квадратную матрицу размерностью  $n$  (где  $n$  — количество проб) симметричную относительно главной диагонали. Элементом матрицы является статистическое расстояние между объектами.

Процесс обработки натуральных данных и определения положения границ зон на гидроотвале или хвостохранилище можно представить в виде блок-схеме, представленной на рис. 3.

Каждый из шагов алгоритма осуществляется с помощью набора правил, которые могут быть формализованы в виде математических и логических выражений, что позволяет реализовать данный алгоритм в виде программного кода на ЭВМ. Применение САПР на этапах проектирования инженерно-геологический сетей изысканий и первичного анализа по-

лученных материалов позволит в интерактивной форме проводить моделирование изменчивости техногенных массивов. В свою очередь это способствует значительному снижению капиталовложений и временных затрат, а также получению возможности прогнозирования поведения массива во времени на основе специального инженерно-геологического районирования.

Математическое обеспечение САПР занимает особое место, так как от него напрямую зависит качество проводимых в системе расчетов. Оно включает в себя математические модели проектируемых объектов, методы и алгоритмы проектных процедур, используемые при автоматизированном проектировании. К элементам математического проектирования САПР относятся принципы построения функциональных моделей, методы численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, постановки экстремальных задач, поиска экстремума и т.д. Специфика предметных областей САПР проявляется в моделировании проектируемых объектов, прежде всего в способах решения задач структурного синтеза. От

качества выбранного математического аппарата более чем на половину зависит качество разрабатываемой САПР.

К данному виду обеспечения САПР предъявляется ряд требований, которые в общем виде можно сформулировать следующим образом: универсальность, алгоритмическая надежность, точность, затраты машинного времени, затраты памяти.

Под универсальностью математического обеспечения понимается его применимость к широкому классу проектируемых объектов. В разработанной модели построение сетей инженерно-геологических исследований не используются частные методы или коэффициенты в применении к конкретным объектам, система инвариантна по отношению к входным данным. Стоит отметить, что эффективность разработанной модели прямо пропорциональна степени фракционирования отложений: чем ярче выражена функциональность процесса осаждения частиц, тем менее плотная сеть понадобится для достижения заданной точности. В целом, перечисленные факты позволяют говорить об универсальности разработанного математического обеспечения.

Второе требование к данному виду обеспечения — алгоритмическая надежность — это свойство давать при применении алгоритма в любых условиях правильные результаты. Количественной оценкой алгоритмической надежности служит вероятность получения правильных результатов при соблюдении оговоренных ограничений на применение метода. Апробация разработанной модели на объектах КМА и Кузбасса показала ее пригодность в рамках проведения инженерно-геологического райони-

рования. В подавляющем большинстве случаев (более 95 % — данное значение можно трактовать как количественную оценку надежности) физико-механические свойства техногенных отложений будут схожи с характеристиками объектов рассмотренных горнопромышленных районов России. В рассмотренных регионах расположено подавляющее большинство гидроотвалов и хвостохранилищ [4].

Для большинства компонентов математического обеспечения важным свойством является точность, определяемая по степени совпадения расчетных и истинных результатов. В рамках данной работы тестовыми задачами можно считать построение инженерно-геологических сетей для объектов КМА и Кузбасса. Так как в результате проведения моделирования расхождение между полученными результатами и результатами районирования массивов, проводимом традиционными способами, не превышает 5 %, то, можно говорить о точности вычислений, удовлетворяющей потребностям технологических решений в области дальнейшего использования техногенных массивов [4].

*Затраты машинного времени.* Универсальные модели и методы характеризуются сравнительно большим объемом вычислений, растущим с увеличением размерности задач. Поэтому при решении большинства задач в САПР затраты машинного времени значительны. *Затраты памяти* являются вторым после затрат машинного времени показателем экономичности математического обеспечения. Они определяются длиной программы и объемом используемых массивов данных

Эти критерии качества в отношении разработанного математического обеспечения не требуют детального описания, так как в рамках задачи не производится операций с большими объемами данных. Все используемые операции достаточно просто реализуются на алгоритмических языках программирования.

Таким образом, по всем из выше перечисленных критериев разработанная модель применима в качестве математического обеспечения САПР. Разработанная система автоматизированного проектирования должна быть легко настраиваемой, чтобы при необходимости пользователь мог менять способы расчетов тех или иных параметров (статистического расстояния, вида кластеризации и т.д.). Система не должна ограничивать оператора, так как формализованные мето-

ды не могут учитывать всех факторов, а также накопленный исследователем опыт, что может привести к увеличению объемов изысканий.

Использование статистических способов построения инженерно-геологических сетей существенно меняет процесс исследования на массивах. Данный метод предполагает определение и уточнение всех границ участков одновременно, что не представляется возможным при последовательном исследовании массива. Применение разработанной математической модели в специализированных САПР для горнодобывающей промышленности позволит повысить качество самих систем автоматизированного проектирования, предназначенных для горнодобывающей промышленности, за счет минимизации количества точек опробования в сети.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерно-геологические изыскания, Университет, М.:2008.

2. Инструкция по проектированию гидротвалов из глинистых грунтов и прогнозированию их состояния, ВСН-291-72, ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, М.: 1977.

3. Рекомендации по производству инженерно-геологической разведки. — Производственный и научно-исследовательский

институт по инженерным изысканиям в строительстве, М.:1975.

4. Ческидов В.В. Обоснование сети мониторинга техногенных массивов с использованием принципов кластерного анализа. — Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых, М.: ИПКОН РАН, 2009

5. Шитиков В. К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Г. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. — Тольятти ИЭВБ РАН, 2003. **ПЛАЭ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Ческидов В.В. — аспирант, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru.

